

جذب ۲ کلروفنل توسط کربن فعال حاصل از پوست پرتقال و پوست موز: مطالعات تعادلی و سینتیکی

محمد علی ززولی^۱، داود بلاق^{۲*}

۱. گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران

چکیده

سابقه و هدف: ترکیبات فنلی در فاضلاب صنایع مختلف موجود بوده و جزء آلاینده‌های دارای تقدم می‌باشند، بنابراین قبل از تخلیه به محیط‌زیست باید مورد تصفیه قرار گیرند. هدف مطالعه حاضر، بررسی جذب ۲-کلروفنل توسط کربن فعال حاصل از پوست پرتقال و پوست موز بود.

روش بررسی: این تحقیق به صورت آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته انجام گرفت. پوست پرتقال و موز در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس کربونیزه و در اندازه ۳۰ مش دانه‌بندی شد. تأثیر پارامترهای مختلف مثل زمان تماس (۱۰-۱۲۰ دقیقه)، pH (۳-۱۱)، غلظت اولیه ۲-کلروفنل (۱۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و دوز بیومس (۰/۲ تا ۲ گرم در لیتر) بر عملکرد جاذب بررسی شد. نمونه‌ها با دو بار تکرار مورد آزمون قرار گرفتند و مدل‌های مختلف ایزوترم و سرعت واکنش جذب از طریق مقایسه ضریب رگرسیون (R^2) تحلیل شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد با افزایش زمان تماس و دوز جاذب، میزان حذف ۲ کلروفنل با هر دو جاذب افزایش می‌یابد، اما ظرفیت جذب جاذب (q_e) کاهش می‌یابد. با کاهش غلظت اولیه ۲ کلروفنل، میزان حذف افزایش یافت و pH بهینه برای جذب معادل ۵ تعیین گردید. داده‌های حاصل از ایزوترم جذب لانگمویر برای هر دو جاذب بهتر از سایر ایزوترم‌ها پیروی می‌کنند. از طرف دیگر بررسی سینتیک جذب بیانگر تطابق بهتر داده‌ها با معادله درجه دوم کاذب بود.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر مشخص شد که کربن فعال حاصل از پوست پرتقال و موز به‌عنوان یک جاذب ارزان‌قیمت از پتانسیل جذب بالایی در حذف آلاینده ۲-کلروفنل از نمونه‌های آب و فاضلاب برخوردار می‌باشد.

واژگان کلیدی: ۲-کلروفنل، جاذب طبیعی، پوست پرتقال، پوست موز، جذب سطحی

How to cite this article:

Zazouli MA, Balarak D. Adsorption of 2-Chlorophenol on Activated Carbon Prepared from Orange and Banana Husk: Equilibrium and Kinetic Studies. J Saf Promot Inj Prev. 2016; 4(2):117-28.

مقدمه

ترکیبات فنل یکی از رایج‌ترین آلاینده‌های حاضر در فاضلاب حاصل از فعالیت‌های صنعتی نظیر تولید رزین، پلاستیک، الیاف، آهن، فولاد، آلومینیوم، چرم، لاستیک و غیره محسوب می‌شود (۵). فاضلاب‌های دارای ترکیبات فنلی به دلیل تجزیه‌پذیری کم، سمیت بالا و صدمات اکولوژیکی طولانی‌مدت مشکلات مختلفی ایجاد می‌نمایند (۶). ترکیبات فنلی در غلظت کمتر از ۵ میکروگرم در لیتر سبب تولید طعم و بوی نامطبوع در آب‌های آشامیدنی می‌شوند (۷). همچنین این ترکیبات برای ارگانسیم‌ها، آبزیان، گیاهان و انسان سمی هستند (۸، ۹). به دلیل سمیت بالای آروماتیک‌های چند هسته‌ای و ترکیبات

یکی از مسائل مهمی که سلامت محیط را تهدید می‌کند ترکیبات مقاوم و سمی می‌باشد که از طریق فاضلاب‌های صنعتی وارد محیط‌زیست می‌گردند (۱). یکی از نتایج توسعه سریع صنایع، تولید حجم زیاد فاضلاب و در نتیجه آلوده شدن منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به مواد شیمیایی آلی و غیر آلی مختلفی از قبیل ترکیبات فنلی، رنگ‌ها و فلزات سنگین است (۲). فنل و مشتقات آن محصولات طبیعی حاصل از تجزیه گیاهان و حیوانات می‌باشند (۳، ۴). علاوه بر این،

*آدرس نویسنده مسئول مکاتبات: dbalarak2@gmail.com

مواد و روش ها

مواد مورد استفاده، ۲-کلروفنل و اسیدسولفوریک و سود از شرکت مرک تهیه شد. ۲-کلروفنل خریداری شده با درجه خلوص ۹۹ درصد دارای فرمول شیمیایی C_6H_5ClO و جرم مولی ۱۲۸/۵ گرم بر مول بود. ابتدا پوست پرتقال و موز جمع‌آوری و برای از بین بردن آلودگی اولیه با آب مقطر، سه بار به مدت ۱ ساعت شسته شدند. سپس در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در مدت ۶ ساعت خشک و برای فعال‌سازی از اسیدسولفوریک ۱/۰۱ نرمال به مدت ۳ ساعت استفاده گردید. برای کربونیزه شدن کامل در دمای ۵۵۰ درجه در کوره به مدت ۱ ساعت قرار داده شد. سپس کربن به‌دست‌آمده در دمای محیط سرد شده و بعد از سرد شدن چندین بار با آب مقطر شسته تا خاصیت اسیدی آن از بین برود. با استفاده از الک‌های استاندارد کربن به‌دست‌آمده در اندازه مش ۳۰ سایزبندی و تا زمان استفاده در دسیکاتور نگهداری گردید (۲۰). سطح ویژه و حجم تخلخل‌های جاذب‌ها با کمک آزمایش ^۲ با دستگاه Gemini ۲۳۷۵ شرکت Micromeritics آمریکا و چگالی ذرات با دستگاه پیکنومتر AccuPyc ۱۳۳۰ همان شرکت و در پژوهشگاه مواد و انرژی تعیین شده است. خصوصیات ظاهری جاذب با استفاده از میکروسکوپ الکترونی مدل Philips مجهز به پراکنش پرتو ایکس^۳ انجام شد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر جاذب^۴ pH_{pzc} می‌باشد که در این تحقیق تعیین شد (نمودار ۲). برای تعیین pH_{pzc} از محلول نمک طعام ۰/۰۱ مولار به‌عنوان الکترولیت و از محلول‌های سود و اسیدکلریدریک ۰/۱ مولار به‌عنوان عوامل کنترل‌کننده استفاده شد. مقدار ۳۰ میلی‌لیتر (در هر ارلن) از محلول الکترولیت در ۸ عدد ارلن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و pH محلول‌ها در محدوده ۲ تا ۱۲ با استفاده از اسید و سود تنظیم گردید. میزان ۰/۵ گرم از کربن حاصل از پوست پرتقال و موز در هر کدام از ارلن‌ها اضافه شد و به مدت ۴۸ ساعت ارلن‌ها بر روی شیکر با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه قرار داده شدند و بعد از سپری شدن زمان فوق، pH نهایی محتویات ارلن‌ها بعد از عبور از صافی قرائت گردید (۲۵).

برای آزمایشات جذب در ستون ناپیوسته، ابتدا محلول مادر ۲-کلروفنل با استفاده از حل کردن ۱ گرم ۲-کلروفنل در ۱ لیتر (۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) آب حاصل شد. سپس غلظت‌های مختلف از ۲-کلروفنل از طریق رقیق‌سازی محلول استوک با استفاده از آب دو بار تقطیر تهیه گردید. عوامل مورد بررسی در این تحقیق شامل فاکتورهای pH ، زمان تماس، غلظت اولیه ۲-کلروفنل و دوز جاذب بود که pH در گستره ۳ تا ۱۱، زمان تماس (۱۰-۱۲۰ دقیقه)، غلظت اولیه ۲-کلروفنل (۱۰-۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، دوز جاذب در گستره ۰/۲ تا ۲ گرم در لیتر با توجه به مطالعات قبلی انتخاب شد. برای

فنی، آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا^۱ حد مجاز آن‌ها را ۱ میلی‌گرم در لیتر توصیه می‌نماید (۶). با توجه به این مشکلات، حذف این نوع از ترکیبات آلی از فاضلاب صنایع شیمیایی و پتروشیمی، یکی از اجزای لازم و ضروری در سیستم‌های تصفیه فاضلاب این صنایع به شمار می‌رود. روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی نظیر جذب سطحی، اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس، اکسیداسیون پیشرفته، تصفیه بیولوژیکی، استخراج در حلال، اکسیداسیون مرطوب، تبادل یونی و کاهش بیولوژیکی مهم‌ترین روش‌های حذف فنل و ترکیبات فنلی از فاضلاب هستند (۱۰). مشکلاتی نظیر هزینه بالا، راندمان پایین و تولید محصولات جانبی سمی و خطرناک عوامل محدودکننده برای کاربرد بعضی از این روش‌ها هستند (۱۱، ۱۲). در میان فرایندهای فیزیک و شیمیایی، تکنولوژی جذب به‌طور وسیعی در چند سال اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است (۱۳). جذب سطحی تکنیکی مناسب و قوی برای تصفیه پساب‌های خانگی و صنعتی می‌باشد (۱۴). جذب سطحی فرایندی است که طی آن مولکول‌های ماده جذب‌شونده موجود در یک محلول به سمت سطوح داخلی یک ماده جذب‌شونده کشیده شده و تجمع می‌یابند (۱۵). این فرایند روشی ساده، اقتصادی، سریع و بدون هیچ تصفیه و ماده شیمیایی می‌باشد (۱۶). به دلیل محدودیت‌هایی نظیر مشکل دسترسی و نداشتن راندمان بالا، تمایل رو به رشدی در استفاده از جاذب‌های آسان و با کارایی بالا در جذب وجود دارد (۱۷). در سال‌های اخیر تلاش شده است که از جاذب‌های طبیعی و ارزان‌قیمت با کارایی بالا مثل بنتونیت، چیتوزان، خاکاره، خاکستر، چوب، کاه، سبوس برنج، پوست نارگیل، خاک رس، پوست تخم‌مرغ و گیاه عدسک و آزولا به‌جای کربن فعال استفاده شود (۱۸، ۱۹). پوست پرتقال و موز نیز یکی از زائدات کشاورزی است که به‌وفور در کشور ما تولید می‌گردد. از سوی دیگر با توجه به مطالعات صورت گرفته ۷۲٪ وزنی پرتقال و ۶۵٪ وزنی موز را آب تشکیل داده و میزان کربوهیدرات در پوست پرتقال و موز به ترتیب ۸۲٪ و ۶۹٪ می‌باشد (۲۰، ۲۱). لذا به نظر می‌رسد این مواد می‌توانند به‌عنوان جاذب ارزان‌قیمت مورد استفاده قرار گیرند و مطالعات مختلفی در این زمینه برای حذف فلزات سنگین و رنگ نیز در سراسر دنیا صورت گرفته است که نشان‌دهنده راندمان بالای پوست پرتقال و موز در حذف این آلاینده‌ها بوده است (۲۲-۲۴). بنابراین هدف از مطالعه حاضر، بررسی کارایی کربن فعال حاصل از پوست پرتقال و موز به‌عنوان یک جاذب ارزان‌قیمت و در دسترس برای حذف ۲-کلروفنل از محلول‌های آبی در یک سیستم ناپیوسته است. همچنین تأثیر فاکتورهای pH ، زمان تماس، غلظت اولیه ۲-کلروفنل و دوز جاذب روی میزان جذب بررسی گردید.

۲. Brunauer Emmett Teller (BET)

۳. Energy Dispersive X-Ray (EDX)

۴. Point of zero charge (PZC)

۱. US Environmental Protection Agency (EPA)

معنی‌داری با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ و ضریب رگرسیون محاسبه شد. راندمان حذف و ظرفیت جذب (q_e) با استفاده از معادلات زیر (رابطه ۱ و ۲) تعیین شد (۲۷). در این رابطه R راندمان، q_e ظرفیت جذب بر حسب میلی‌گرم به ازای هر گرم جذب، C غلظت اولیه ۲- کلروفنل بر حسب میلی‌گرم در لیتر، C_e غلظت ۲- کلروفنل در زمان t بر حسب میلی‌گرم در لیتر M جرم جذب بر حسب گرم، V حجم نمونه بر حسب لیتر می‌باشد.

$$R = \frac{(C_0 - C_e) \times 100}{C_0} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{M} \times V \quad \text{رابطه (۲)}$$

آزمون‌های لازم برای تعیین ایزوترم‌های جذب با انتخاب شرایط پایه شامل مقدار جذب ۱ گرم در لیتر، غلظت اولیه ۲- کلروفنل ۲۵ میلی‌گرم در لیتر در pH برابر ۵ انجام شد.

انجام آزمایشات ابتدا زمان تماس بهینه در شرایط ثابت ($pH=7$)، غلظت اولیه ۲- کلروفنل برابر با ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، دوز جذب ۱ گرم در ۱۰۰ سی‌سی) تعیین گردید. در هر بار آزمایش جذب، حجم مشخصی از محلول ۲- کلروفنل مورد مطالعه با غلظت معین به داخل ارلن اضافه گردید. شرایط مورد نظر تنظیم و دوز خاصی از جذب به آن اضافه شد. نمونه در شیکر با ۱۸۰ دور در دقیقه مخلوط و سپس نمونه مورد نظر با شدت ۳۶۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتیفریوژ شد. در پایان غلظت باقیمانده ۲- کلروفنل با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۷۴ نانومتر اندازه‌گیری شد.

تمام مراحل آزمایش برای پی بردن به خطاهای احتمالی در دو مرحله انجام شد؛ بنابراین تعداد نمونه‌های مورد نظر با توجه به بهینه بودن پارامترها و تکرار آزمایشات برای دو جذب ۱۲۰ نمونه می‌باشد. آزمایشات مربوط به pH_{pzc} به دلیل حساس بودن با ۴ بار تکرار انجام شد. بعد از اتمام آزمایشات برای کلیه داده‌های به دست آمده سطح

جدول ۱. معادلات مربوط به ایزوترم‌های جذب (۲۸، ۲۹)

نوع ایزوترم	فرم خطی
فروندلیچ	$\text{Log} \frac{x}{m} = \frac{1}{n} \text{log } C_e + \text{log } K_f$
لانگمیر ۱	$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{c_e}{q_m}$
لانگمیر ۲	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \left(\frac{1}{K_L q_m} \right) \frac{1}{c_e}$
لانگمیر ۳	$q_e = q_m - \left(\frac{1}{K_L} \right) \frac{q_e}{c_e}$
لانگمیر ۴	$\frac{q_e}{c_e} = k_1 q_m^{-k_1} m^{-k_1} c_e$
تمکین	$q_e = B_1 \ln(k_1) + B_1 \ln(c_e)$
دوبینین-راداشکویچ	$\ln q_e = \ln(q_m) - k_d \cdot c_e^2$
عمومی	$\text{Log} \left(\frac{q_m}{q_e} - 1 \right) = \text{log } K_g - N_b \text{log } C_e$
رادلیچ-پترسون	$q_e = \frac{1}{\frac{1}{q_m} + \frac{k_{rp} c_e}{1 + \alpha_{rp} c_e^\beta}}$
بت	$\frac{c_e}{(c_s - c_e)q} = \left(\frac{1}{q_m K_b} \right) + \left(\frac{K_b - 1}{q_m K_b} \right) \frac{c_e}{c_s}$

در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند ارائه شده است.

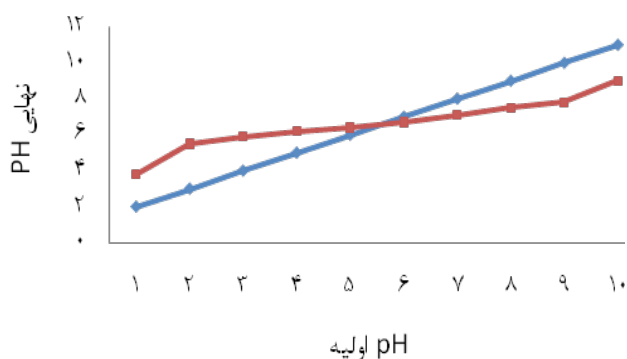
برای درک دینامیک جذب می‌توان اطلاعات حاصله از سینتیک جذب را مورد بررسی قرار داد. در جدول ۲ سینتیک‌های معمول را که

جدول ۲. معادلات و فرم خطی سینتیک‌های مورد بررسی (۳۰، ۳۱)

نوع سینتیک	فرم خطی
درجه اول کاذب	$\text{Log}(q_e - q) = \log q_e - \frac{kt}{2.3}$
درجه دوم	$\frac{t}{q} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$
ایلوویج	$q_e = \left(\frac{1}{\beta}\right) \ln(\alpha\beta) + \left(\frac{1}{\beta}\right) \ln t$
پخش بین‌ذره‌ای	$q_t = k_{\text{diff}} t^{0.5} + c$

یافته‌ها

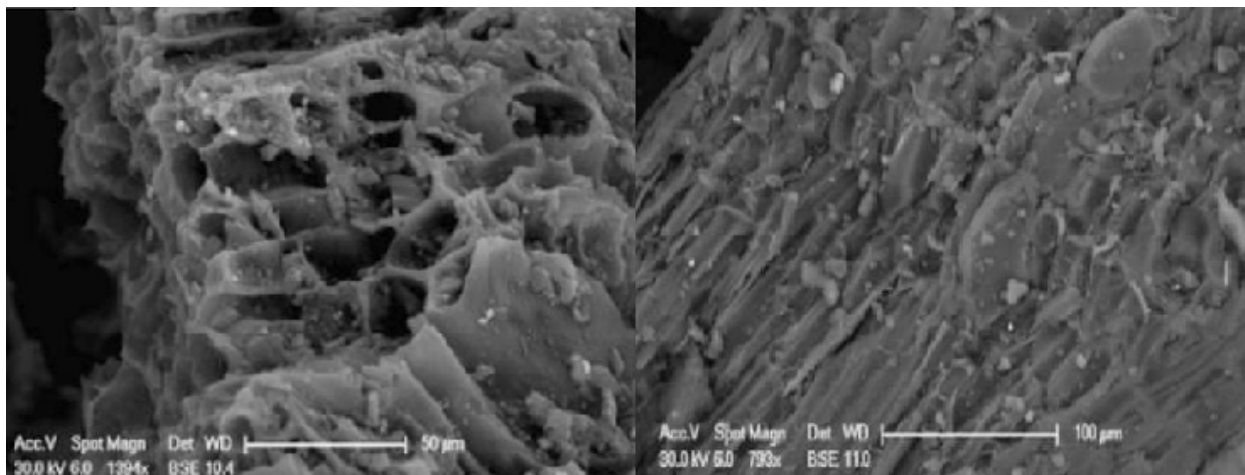
مشخصات جاذب: کربن فعال حاصل از پوست پرتقال و موز مورد استفاده دارای سطح ویژه ۲۱۶ و ۹۴۱ مترمربع در هر گرم می‌باشد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر جاذب مقدار pH_{pzc} می‌باشد که در این آزمایش تعیین شد. pH_{pzc} برای کربن فعال (پرتقال) با ۴ بار تکرار بین ۴۵/۶±۶ متغیر بوده است و برای کربن فعال حاصله از بین ۴۵/۵±۸/۱۰ بود؛ بنابراین pH_{pzc} برای هر دو بیومس مورد نظر تقریباً برابر با ۶ می‌باشد که نمودار ۲، pH_{pzc} مورد نظر برای بیومس‌ها را نشان می‌دهد. همچنین تصویر میکروسکوپ الکترونی از جاذب‌ها بعد از کربنیزه کردن در شکل ۱ نشان داده شده است



نمودار ۱. منحنی pH_{pzc} برای کربن پوست پرتقال و موز

برای ارزیابی مدل‌ها علاوه بر ضریب همبستگی، از تابع خطا (F_{error}) نیز استفاده شد. در این تابع، اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش با مقادیر به دست آمده از مدل به عنوان معیار ارزیابی قرار گرفت؛ که در این رابطه، مقدار به دست آمده از برازش مدل، $q_{i \text{ model}}$ مقدار به دست آمده از آزمایش و p تعداد آزمایش‌ها است (۳۲).

$$F_{\text{error}} = \sqrt{\sum_{i=1}^p \left(\frac{q_{i \text{ model}} - q_{i \text{ experimental}}}{q_{i \text{ experimental}}} \right)^2 \times \left(\frac{1}{p-1} \right)}$$



شکل ۱. عکس میکروسکوپ الکترونی الف: کربن فعال حاصل از پوست پرتقال ب: کربن فعال حاصل از پوست موز

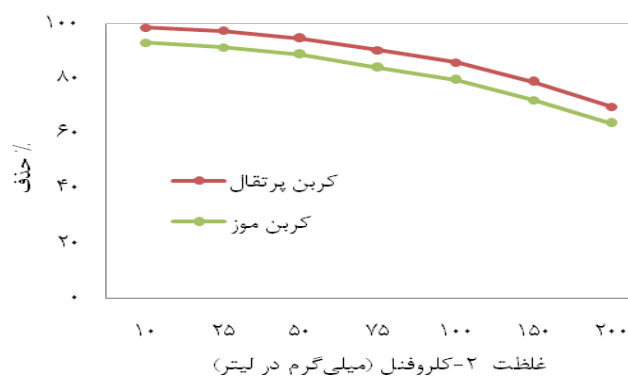
بنابراین به دلایل اقتصادی زمان تماس بهینه برای حذف ۲-کلروفنل توسط کربن پوست پرتقال و پوست موز ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از رگرسیون خطی به طور معنی‌داری نشان داد که با افزایش یک واحد زمان تماس برای کربن پوست پرتقال و موز، درصد حذف به ترتیب به اندازه ۰/۰۴۲، ۰/۰۳۳ افزایش می‌یابد

تأثیر زمان تماس و pH: نتایج به دست آمده از آزمایشات نشان داد با افزایش زمان تماس میزان حذف افزایش یافت (نمودار ۲). به گونه‌ای که تا مدت زمان تماس ۳۰ دقیقه میزان حذف با شیب زیادی افزایش یافت ولی بعد از ۳۰ دقیقه با افزایش زمان، راندمان حذف با شیب ملایم‌تری افزایش یافته تا در ۶۰ دقیقه فرایند جذب به تعادل می‌رسد. با توجه به نتایج به دست آمده اختلاف حذف زیادی بین میزان حذف در ۶۰ دقیقه تا ۲۴۰ دقیقه مشاهده نمی‌شود،

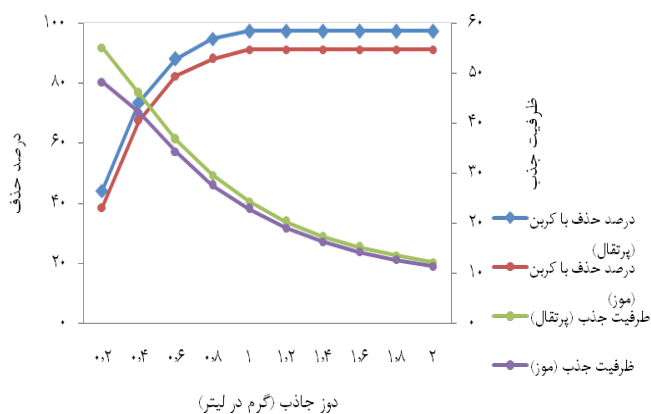
۵. Point of zero charge

داده‌ها با استفاده از رگرسیون خطی به‌طور معنی‌داری نشان داد که با افزایش یک واحد غلظت ۲-کلروفنل برای کربن حاصل از پوست پرتقال و موز، درصد حذف به ترتیب به‌اندازه ۰/۰۳۲ و ۰/۰۲۹ کاهش می‌یابد ($p \leq 0.001$).

تأثیر دوز جاذب: نتایج حاصل از بررسی تأثیر دوز جاذب بر راندمان حذف ۲-کلروفنل، در نمودار ۵ نشان داده شده است. نتایج نمودار ۵ نشان می‌دهد، با افزایش جرم جاذب از ۰/۲ گرم تا ۱ گرم در لیتر، راندمان حذف ۲-کلروفنل با استفاده از کربن فعال حاصل از پوست پرتقال و موز به ترتیب از ۴۴/۱ به ۹۷/۴ درصد و از ۳۸/۶ به ۹۱/۳ درصد افزایش یافته است، اما در مقادیر بالاتر از میزان ۱ گرم در لیتر راندمان حذف، ثابت شده است. البته ذکر این نکته ضروری است هرچند که با افزایش دوز جاذب میزان حذف افزایش می‌یابد، ولی ظرفیت جذب (Q_e) کاهش می‌یابد که در نمودار ۵ نشان داده شده است.

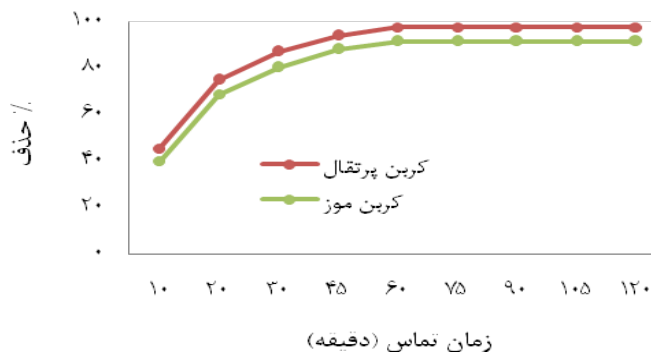


نمودار ۵. تأثیر دوز جاذب بر روی کارایی حذف ۲-کلروفنل بر روی کارایی حذف (دوز جاذب ۱ گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه، $PH=5$)



نمودار ۴. تأثیر غلظت اولیه ۲-کلروفنل بر روی کارایی حذف (دوز جاذب ۱ گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه، $PH=5$)

تأثیر pH بر روی کارایی جذب ۲-کلروفنل در سیستم مورد مطالعه با تغییر در pH از ۳ تا ۱۱ انجام شد و همان‌طوری که در نمودار ۳ نشان داده شده است میزان جذب با افزایش pH از ۵ کاهش پیدا می‌کند؛ بنابراین pH بهینه برای حذف ۲-کلروفنل توسط هر دو جاذب ۵ تعیین شد.



نمودار ۲. تأثیر زمان تماس بر روی کارایی حذف (دوز جاذب ۱ گرم در لیتر، غلظت ۲-کلروفنل ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، $PH=5$)



نمودار ۳. تأثیر pH بر روی کارایی حذف (دوز جاذب ۱ گرم در لیتر، غلظت ۲-کلروفنل ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، زمان تماس ۶۰ دقیقه)

تأثیر غلظت اولیه بیس فنل A: تأثیر غلظت اولیه ۲-کلروفنل بر روی کارایی حذف، در سیستم مورد مطالعه با تغییر در غلظت اولیه آلاینده برحسب میلی‌گرم در لیتر (۱۰-۲۰۰) انجام شد. در نمودار ۴ نتایج حاصل از تأثیر غلظت اولیه ۲-کلروفنل نشان داده شده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت میزان حذف کاهش می‌یابد، بطوریکه برای غلظت‌های ۱۰، ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر میزان حذف در زمان تعادل ۶۰ دقیقه برای کربن فعال حاصله از پوست پرتقال به ترتیب برابر با ۹۸/۶ و ۶۹/۸ درصد و برای کربن حاصله از پوست موز به ترتیب برابر با ۹۳/۱ و ۶۳/۷ درصد می‌باشد. نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه معنادار بودن کاهش درصد حذف با افزایش غلظت اولیه ۲-کلروفنل را نشان می‌داد ($p \leq 0.005$). همچنین آنالیز

جذب انتخاب شد. برای انجام آزمایش ایزوترمی و سنتیکی غلظت اولیه کلروفنل ۲۵ میلی گرم در لیتر در PH=۵ در نظر گرفته شد و همان طور که از جدول ۳ و ۴ قابل مشاهده است بهترین ایزوترم برای جذب ۲ کلروفنل لانگمیر نوع دو و بهترین سنت یک برای تعیین سرعت واکنش، سنت یک واکنش درجه دو می باشد.

جدول ۴: پارامترهای محاسبه شده برای مدل های سینتیکی

نوع سینتیک	پارامتر	کربن پرتقال	کربن موز
درجه اول	K_1	۰/۸۷	۰/۷۹
	qe	۲۱/۲	۱۷/۹
	R^2	۰/۹۹۴	۰/۹۹۱
درجه دوم	Ferorr	۰/۰۴۹	۰/۰۵۷
	K_2	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۶۵
	q_e	۲۴/۹۵	۲۲/۱۸
	R^2	۰/۹۹۹	۰/۹۹۴
ایلوویج	Ferorr	۰/۰۱۶۴	۰/۰۱۵۶
	α	۴/۹	۳/۸
	β	۰/۲۴	۰/۱۷
	R^2	۰/۹۱۲	۰/۹۴۷
	Ferorr	۰/۰۷۸	۰/۰۹۱
بخش بین ذره ای	Kdif	۰/۹۲	۰/۸۲
	C	۴/۷	۳/۸
	R^2	۰/۸۱۲	۰/۸۸۴
	Ferorr	۰/۱۰۲	۰/۰۸۸

بحث

در سال های اخیر، روش جذب سطحی ترکیبات آلی به طور گسترده مطالعه شده است. در این پژوهش کارایی حذف ۲-کلروفنل توسط کربن فعال حاصل از پوست پرتقال و موز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش میکروسکوپ الکترونی بیانگر آن است که ذرات جاذب دارای ساختار غیرمتبلور بوده و دارای خلل و فرج و سطوح مناسب برای جذب است به عبارت دیگر سطح جاذب ناهمگن می باشد. مطالعات مشابه ثابت کرده اند که ساختار ناهمگن باعث افزایش سطح تماس و افزایش میزان جذب ترکیب آلی می شوند (۳۳). همان گونه که بیشتر ذکر شد، یکی از پارامترهای مهم در انتخاب جاذب برای روش جذب سطحی ویژه جاذب می باشد، چراکه هر قدر سطح ویژه ماده بیشتر باشد، ماده دارای خلل و فرج بیشتر و در نتیجه سطح تماس بالاتری با ماده جذب شونده خواهد بود. با افزایش سطح تماس جاذب با ماده آلی راندمان جذب افزایش می یابد. سطح ویژه کربن حاصل از پوست پرتقال و موز به ترتیب ۲۱۶ و ۱۹۴ مترمربع به ازای هر گرم می باشد و این نشان می دهد که دارای سطح ویژه مناسبی نسبت به پوست بادام، گردو، گل قرمز، بیومس آژولا و عدسک می باشد (۱۵).

جدول ۳: پارامترهای محاسبه شده برای مدل های ایزوترمی

نوع ایزوترم	پارامتر ایزوترم	کربن پرتقال	کربن موز
فروندلیج	1/n	۰/۴۷	۰/۵۳
	k_f	۱/۳	۱/۱۷
	R^2	۰/۹۰۴	۰/۹۱۷
	Ferorr	۰/۰۸۷	۰/۰۹۴
لانگمیر نوع ۱	K_L	۰/۰۱۴	۰/۰۱۱
	R^2	۰/۹۹۱	۰/۹۹۶
	Q_m	۱۴/۴	۱۲/۹
	Ferorr	۰/۰۸۲	۰/۰۹۱
لانگمیر نوع ۲	K_L	۰/۰۱۱	۰/۰۰۹
	R^2	۰/۹۹۷	۰/۹۹۵
	Q_m	۲۳/۱۷	۲۱/۴۵
	Ferorr	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۶۵
لانگمیر نوع ۳	KL	۰/۰۵۵	۰/۰۴۵
	R^2	۰/۹۶۱	۰/۹۴۵
	Q_m	۱۸/۷	۱۶/۶
	Ferorr	۰/۰۴۱	۰/۰۵۶
لانگمیر نوع ۴	K_L	۰/۰۱۶	۰/۰۱۸
	R^2	۰/۹۳۱	۰/۹۴۸
	Q_m	۲۴/۶	۲۱/۷
	Ferorr	۰/۰۹۸	۰/۱۱
تکمین	A_T	۴/۴	۳/۹
	B_T	۳/۷	۳/۱۸
	R^2	۰/۸۴۳	۰/۸۷۱
	Ferorr	۰/۰۷۵	۰/۰۸۶
دوبینین - رادوشکویچ	K_{D-R}	۰/۰۰۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۰۰۲۷
	Q_m	۱۲/۱	۱۰/۶
	R^2	۰/۸۶۴	۰/۸۹۱
	Ferorr	۰/۰۸۴	۰/۰۹۵
عمومی	N_b	۱/۰۵	۱/۲۱
	K_G	۶۵/۴	۶۱/۲
	R^2	۰/۸۰۶	۰/۸۳۹
	Ferorr	۰/۱۰۲	۰/۱۱۴
رادلیج-پترسون	β	۰/۹۴	۰/۸۹
	α	۰/۸۷	۰/۸۱
	R^2	۰/۸۷۴	۰/۸۳۱
	Ferorr	۰/۰۸۱	۰/۰۹۲
بت	Q_m	۲۴/۵	۲۱/۳
	K_B	۶/۹	۶/۲۵
	R^2	۰/۹۰۳	۰/۸۸۷
	Ferorr	۰/۱۳۵	۰/۱۴۲

ایزوترم جذب: با توجه به اینکه زمان تماس بهینه برای جاذبها ۶۰ دقیقه می باشد بنابراین مدت زمان ۶۰ دقیقه برای بررسی ایزوترم

یک حد، به خاطر اشباع شدن مکان‌های جذب جاذب، جذبی صورت نگرفته و میزان ۲-کلروفنل باقیمانده در محلول آبی بیشتر خواهد بود. همچنین کاهش نسبت باقی‌مانده کلروفنل به غلظت اولیه آن را می‌توان به دلیل افزایش نیروی رانش در اثر افزایش غلظت اولیه کلروفنل مربوط دانست که بین مولکول‌های آن دافعه ایجاد کرده و از جذب کلروفنل روی جاذب جلوگیری می‌شود (۳۷). به عبارت دیگر با افزایش غلظت ۲-کلروفنل، فضاهای موجود بر روی سطح جاذب در مقایسه با مقدار ۲-کلروفنل کمتر شده و در نتیجه راندمان جذب روند کاهشی دارد (۲۵).

دوز جاذب از جمله پارامترهای تأثیرگذار بر فرایند جذب بوده که تعیین‌کننده ظرفیت جذب برای یک غلظت معین کلروفنل می‌باشد. با وجود افزایش در صد حذف ۲-کلروفنل با افزایش دوز جاذب، مقدار کلروفنل جذب شده به ازای هر گرم جاذب مصرفی کاهش می‌یابد. با افزایش دوز جاذب از ۱ گرم در لیتر به بالا، راندمان افزایش نمی‌یابد، بنابراین ۱ گرم در لیتر به عنوان دوز بحرانی خوانده می‌شود و این بدان معنی است که با افزایش دوز جاذب از این مقدار تأثیر بر میزان جذب نداشته و فقط باعث افزایش هزینه حاصل از تهیه جاذب می‌شود. علت این پدیده، به غیراشباع ماندن برخی از نقاط سطحی است که نتیجه آن، کاهش میزان جذب است (۳۸). مقالات مرتبط علت این پدیده را چنین گزارش کردند که در مقادیر جاذب بیشتر، همپوشانی سطح جاذب و تجمع جاذب اتفاق می‌افتد که برآیند آن‌ها، کاهش سطح کل در دسترس و در نتیجه کاهش میزان جذب آلاینده می‌باشد؛ زیرا تجمع جاذب‌ها، باعث کاهش مسیر انتشار در طی مرحله انتشار آلاینده در سطوح قابل جذب جاذب می‌شود که نتیجه آن، کاهش میزان جذب خواهد بود (۳۹).

بررسی‌های ایزوترم جذب نشان داد که فرایند جذب بر روی جاذب‌ها از ایزوترم لانگمیر نسبت به سایر ایزوترم‌ها بهتر تبعیت می‌کند که نشان‌دهنده جذب تک لایه‌ای ۲-کلروفنل بر روی جاذب‌ها می‌باشد، هرچند که برای سایر ایزوترم‌های لانگمیری نیز R^2 بالا می‌باشد و نشان‌دهنده تبعیت خوب جاذب‌ها از مدل‌های ایزوترم لانگمیری می‌باشد، اما ضریب خطا برای ایزوترم نوع دو از بقیه ایزوترم‌ها پایین بوده که تبعیت بیشتر داده‌ها از ایزوترم لانگمیر نوع دو را نشان می‌دهد. از طرف دیگر مقدار پارامتر $1/n$ در صورتی که بین ۰ و ۱ قرار داشته باشد نشان‌دهنده ناهمگنی سطح و جذب سطحی مطلوب و خوب خواهد بود که در این آزمایش برای هر دو جاذب بین ۰ و ۱ قرار داشت که نشان‌دهنده تبعیت داده‌ها از معادله فروندلیچ خواهد بود. در صورتی که ملاک فقط ضریب همبستگی باشد بیشتر بودن تبعیت داده‌ها از معادله لانگمیر نسبت به سایر ایزوترم‌ها مشاهده شد که در مطالعاتی که در مورد حذف ترکیبات فنل انجام شده است نشان‌دهنده مطابقت کامل نتایج می‌باشد (۴۰، ۴۱). یکی دیگر از

(۲۵، ۳۴).

نتایج حاصل از آزمایشات جذب نشان داد که با افزایش مدت‌زمان تماس، مقدار جذب افزایش یافته و به حداکثر خود می‌رسد. علت تفاوت در میزان جذب ۲-کلروفنل توسط دو جاذب اصلاح‌شده به تفاوت‌های ساختاری دو جاذب بستگی دارد که نشان‌دهنده تفاوت ۹ درصدی در میزان جذب توسط دو جاذب است. جذب ۲-کلروفنل در دقایق اولیه با سرعت زیاد صورت گرفته و با گذشت زمان تماس مقدار جذب کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند به دلیل کاهش غلظت ۲-کلروفنل محلول و کاهش نقاط فعال در سطح جاذب باشد، چون که در مراحل اولیه جذب مکان‌های خالی زیادی در دسترس می‌باشد و با گذشت زمان این مکان‌ها توسط مولکول‌های ۲-کلروفنل اشغال می‌شوند. به‌طور کلی ظرفیت جذب با افزایش زمان تماس افزایش و در یک‌زمان مشخص ثابت می‌ماند و از آن زمان به بعد ۲-کلروفنل محلول حذف نمی‌گردد. در این زمان مقدار ۲-کلروفنل جذب‌شده با مقدار واجذب‌شده در حالت تعادل قرار دارد (۳۵، ۳۶). pH یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر روی جذب می‌باشد و همان‌طور که در نتایج آمده است با افزایش pH میزان جذب کاهش می‌یابد. علت این پدیده به ساختار آنیونی ۲-کلروفنل و pH_{zpc} جاذب‌های اصلاح‌شده مربوط می‌شود. بررسی‌ها نشان دادند که pH_{zpc} جاذب‌ها تقریباً برابر با ۶ می‌باشد و در pH بالاتر از pH_{zpc} بار الکتریکی غالب در سطح جاذب‌ها به صورت بار منفی است و با توجه به اینکه بار سطحی جاذب‌ها در pH بالاتر از ۶، منفی می‌باشد بنابراین با افزایش pH تعداد بارهای منفی افزایش می‌یابد و نیروی جاذبه الکترواستاتیکی میان جاذب و آلاینده کاهش می‌یابد (۲۵). درصد حذف ۲-کلروفنل به وسیله جاذب‌ها با افزایش pH کاهش می‌یابد. دلیل کاهش درصد حذف را می‌توان طبق فرمول زیر توجیه کرد؛ که در آن CP_T غلظت کل کلروفنل‌ها، CP_0 غلظت کل کلروفنل‌های یونیزه شده، pH برابر است با pH نهایی محلول بعد از جذب، pKa نیز برابر با ۸/۳۵ می‌باشد. همان‌طور که مشخص است با افزایش pH مقدار ۲-کلروفنل یونیزه شده کمتر شده است بنابراین هر چه pH افزایش پیدا کند CP_0 کاهش و راندمان نیز کاهش پیدا می‌کند (۷).

$$CP_0 = \frac{CP_T}{1 + 10^{(pH - pKa)}}$$

نتایج همچنین نشان داد که افزایش غلظت اولیه ۲-کلروفنل منجر به کاهش راندمان جذب و افزایش غلظت باقیمانده کلروفنل می‌شود با توجه به اینکه به ازای یک مقدار مشخص از یک جاذب، محل‌های جذب ثابت می‌باشد بنابراین با افزایش غلظت اولیه ۲-کلروفنل کارایی حذف کاهش می‌یابد. به عبارتی دیگر با افزایش غلظت ۲-کلروفنل از

فعال حاصله می‌باشد (۳۵، ۳۶). از آنجاکه کربن حاصل از پوست پرتقال و موز راندمان حذف و ظرفیت جذب قابل قبولی از خود نشان داد و با توجه به ارزان بودن این جاذب‌های طبیعی می‌توان از این جاذب‌ها به‌عنوان جایگزینی مناسب برای جاذب‌های صنعتی استفاده نمود. سرعت واکنش به عوامل مختلفی مانند مدت‌زمان تماس، غلظت اولیه ۲-کلروفنل و جاذب، pH بستگی دارد. بهترین راندمان در pH برابر با ۵، زمان تماس ۶۰ دقیقه، دز جاذب ۱ گرم در لیتر، غلظت اولیه ۲-کلروفنل ۱۰ و ۲۵ میلی‌گرم در لیتر حاصل شد. با توجه به ضرایب همبستگی می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های تعادلی برای هر دو جاذب از مدل‌های لانگمیر بهتر پیروی می‌کند اما ضریب خطا برای لانگمیر نوع دو از همه کمتر می‌باشد. همچنین سرعت واکنش برای جاذب‌ها از مدل سینتیکی درجه‌دو تبعیت می‌کند.

شاخص‌های میزان تمایل یک عنصر به شرکت در فرایند جذب، ضریب نشر (K_d) به‌صورت بوده و $K_d = q_e/C_e$ بیان می‌شود که در آن C_e غلظت تعادلی محلول است. مقدار K_d برای کربن فعال حاصله از پوست پرتقال و موز به ترتیب برابر با ۳/۶ و ۳/۲ می‌باشد که نشان داد تمایل کربن پوست پرتقال برای جذب، بیشتر از کربن پوست موز می‌باشد (۴۲).

همان‌طور که از نتایج سینتیکی قابل‌مشاهده است، بیشتر مدل‌ها می‌توانند فرایند سرعت واکنش را نشان دهند ولی از میان تمام سنتیک‌ها، سینتیک درجه‌یک و دو نسبت به سایر آن‌ها تطابق بیشتری با داده‌های تعادلی دارند. هر دو مدل درجه‌یک و دو دارای ضریب رگرسیون بالای ۰/۹۹ می‌باشند، ولی ضریب خطای مدل درجه‌یک نسبت به مدل درجه ۲ دو بیشتر می‌باشد؛ بنابراین سینتیک درجه‌دو با ضریب رگرسیون بالا و ضریب خطای کمتر به‌عنوان بهترین نوع سینتیک برای جذب ۲-کلروفنل توسط کربن

References

1. Ansari S, Jafari MJ, Sedghi R, Azari MR, Zendejdel R. Toluene vapors adsorption in the fixed and fluidized bed by Nano-Zeolite. Safety Promotion and Injury Prevention. 2015;3(3):155-60.
2. Diyanati RA, Yazdani J, Belarak D. Effect of sorbitol on phenol removal rate by lemna minor. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2013;23:55-62.
3. Girelli AM, Mattei E, Messina A. Phenols removal by immobilized tyrosinase reactor in on-line high performance liquid chromatography. Anal Chim Acta. 2006; 580 (2): 271-7.
4. Bazrafshan E, Mostafapour KF, Mahvi AH. Phenol removal from aqueous solutions using pistachio-nut shell ash as a low cost adsorbent. Fresenius Environmental Bulletin. 2012;21(10); 2962-8.
5. Tepe O, Dursun AY. Combined effects of external mass transfer and biodegradation rates on removal of phenol by immobilized Ralstonia eutropha in a packed bed reactor. Journal of hazardous materials. 2008; 151(1):9-16.
6. Bayramoglu G, Arica MY. Enzymatic removal of phenol and p-chlorophenol in enzyme reactor: horseradish peroxidase immobilized on magnetic beads. Journal of hazardous materials. 2008;156(1-3): 148-55.
7. Zazouli MA, Balarak D, Mahdavi Y. Application of azolla filiculoides biomass for 2-Chlorophenol and 4-Chlorophenol Removal from aqueous solutions. Iranian journal of health sciences. 2013;1(2):36-43.
8. Kumar NS, Subbaiah MV, Reddy AS, Krishnaiah A. Biosorption of phenolic compounds from aqueous solutions onto chitosan-abrus precatorius blended beads. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 2009;84(7):972-81.
9. Rubín E, Rodríguez P, Herrero R, Sastre de Vicente ME. Biosorption of phenolic compounds by the brown alga Sargassum muticum. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 2006;81(7):1093-99.
10. Gholizadeh A, Kermani M, Gholami M, Farzadkia M. Comparative Investigation of 2-Chlorophenol

- and 4-Chlorophenol Removal Using Granulated Activated Carbon and Rice Husk Ash. *Tooloe Behdasht*. 2012;11(3):66-78.
11. Wu J, Yu HQ. Biosorption of 2, 4-dichlorophenol by immobilized white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* from aqueous solutions. *Bioresource technology*. 2007;98(2):253-9.
 12. Akar T, Ozcan AS, Tunali S, Ozcan A. Biosorption of a textile dye (Acid Blue 40) by cone biomass of *Thuja orientalis*: Estimation of equilibrium, thermodynamic and kinetic parameters. *Bioresource technology*. 2008; 99(8):3057-65.
 13. Banat FA, Al-Bashir B, Al-Asheh S. Adsorption of phenol by bentonite. *Environmental pollution*. 2000;107(3):391-8.
 14. Nadavala SK, Swayampakula K, Boddu VM. Biosorption of phenol and o-chlorophenol from aqueous solutions on to chitosan-calcium alginate blended beads. *hazardous materials*. 2009;162(1):482-9.
 15. Tor A, Cengeloglu Y, Aydin ME, Ersoz M. Removal of phenol from aqueous phase by using neutralized red mud. *Journal of colloid and interface science*. 2006;300(2):498-503.
 16. Diyanati RA, Yousefi Z, Cherati JY, Balarak D. Comparison of phenol adsorption rate by modified Canola and Azolla: An Adsorption Isotherm and Kinetics Study. *Journal of Health & Development*. 2014; 3(3):17-25.
 17. Mukherjee S, Kumar S, Misra AK, Fan M. Removal of phenols from water environment by activated carbon, bagasse ash and wood charcoal. *Chemical Engineering Journal*. 2007;129(1):133-42.
 18. Balarak D, Jaafari J, Hassani G, Mahdavi Y, Tyagi I, Agarwal S, Gupta VK. The use of low-cost adsorbent (Canola residues) for the adsorption of methylene blue from aqueous solution: Isotherm, kinetic and thermodynamic studies. *Colloids and Interface Science Communications*. 2015;7:16-9.
 19. Qadeer R, Rehan AH. A study of the adsorption of phenol by activated carbon from aqueous solutions. *Turkish journal of chemistry*. 2002;26(3):357-62.
 20. Gholami H, Gholami M, Gholizadeh A, Rastegar A. Use of Orange Peel Ash for removal of Direct Black 22 Dye from aqueous environments. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*. 2012;4(1):45-55.
 21. Liu C, Ngo HH, Guo W, Tung K-L. Optimal conditions for preparation of banana peels, sugarcane bagasse and watermelon rind in removing copper from water. *Bioresource Technology* 2012;119:349-54.
 22. Hameed BH, Hakimi H. Utilization of durian (*Durio zibethinus* Murray) peel as low cost sorbent for the removal of acid dye from aqueous solutions. *Biochemical Engineering Journal*. 2008;39(2):338-43.
 23. Salman JM, Njoku VO, Hameed BH. Adsorption of pesticides from aqueous solution onto banana stalk activated carbon. *Chemical Engineering Journal*. 2011;174(1):41-8.
 24. Amela K, Hassen MA, Kerroum D. Isotherm and kinetics study of biosorption of cationic dye onto banana peel. *Energy Procedia*. 2012;19:286-95.
 25. Zazouli MA, Balarak D, Mahdavi Y, Barafraشتهpour M, Ebrahimi M. Adsorption of Bisphenol from Industrial

- Wastewater by Modified Red Mud. *Journal of Health & Development*. 2013;2(1):1-11.
26. Malakootian M, Balarak D, Mahdavi Y, Sadeghi SH, Amirmahani N. Removal of antibiotics from wastewater by azolla filiculoides: Kinetic and equilibrium studies. *IJAPBS*. 2015;4(7):105-13.
27. Mousavi SA, Khashij M, Shahbazi P. Adsorption Isotherm Study and Factor Affected on Methylene Blue Decolorization using Activated Carbon Powder Prepared Grapevine Leaf. *Safety Promotion and Injury Prevention*. 2016;3(4):249-56.
28. Kumar PS, Ramalingam S, Senthamarai C, Niranjanaa M, Vijayalakshmi P, Sivanesan S. Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut shell: Studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions. *Desalination*. 2010;261(1):52-60.
29. Yao Y, Bing H, Feifei X, Xiaofeng C. Equilibrium and kinetic studies of methyl orange adsorption on multiwalled carbon nanotubes. *Chemical Engineering Journal*. 2011;170(1):82-9.
30. Jafari-Mansoorian H, Farzadkia M, Ansari M, Ahmadi E, Majidi G, Amraie A, Joghataie A. Evaluating the Activated Carbon Prepared from walnut in Removal of Arsenic from Aqueous Solution. *Safety Promotion and Injury Prevention*. 2016;3(4):287-94.
31. Hameed BH, Rahman AA. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from biomass material. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;160(2):576-81.
32. Shamohammadi S, Isfahani A. Removal of Manganese from Aqueous Solution by Natural Zeolite in the Presence of Iron, Chrome and Aluminum Ions. *Water and Wastewater*. 2012(1):66-76.
33. Bayramoglu G, Gursel I, Tunali Y, Arica MY. Biosorption of phenol and 2-chlorophenol by *Funalia trogii* pellets. *Bioresource Technology*. 2009;100(10):2685-91.
34. Pajoohehfar SP. Survey Removal of phenol from contaminated water using activated carbon and carbon skin almonds and walnuts. *Environmental Science and Technology*. 2009;10(4):219-33.
35. Kermani M, Gholami M, Gholizade A, Farzadkia M, Esrafil A. Effectiveness of Rice Husk Ash in Removal of Phenolic Compounds from Aqueous Solutions, Equilibrium and Kinetics Studies. *Iranian Journal Health & Environmental*. 2012; 5(2); 107-20.
36. Senturk HB, Ozdes D, Gundogdu A, Duran C, Soylak M. Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto organomodified Tirebolu bentonite: Equilibrium, kinetic and thermodynamic study. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;172(1); 353-62.
37. Yousef RI, El-Eswed B, Ala'a H. Adsorption characteristics of natural zeolites as solid adsorbents for phenol removal from aqueous solutions: kinetics, mechanism, and thermodynamics studies. *Chemical Engineering Journal*. 2011;171(3):1143-9.
38. Massoudinejad MR, Eslami A, Khashij M. Removal of Mn^{2+} from aqueous solution using Clinoptilolite coated with manganese dioxide. *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*. 2015; 2(4);264-73.

39. Hamzeh Y, Izadyar S, Azadeh E, Abyaz A, Asadollahi Y. Application of canola salks wasteas adsorbent of acid orange 7 from Aqueous Solution. Iranian Journal of Health and Environment. 2011;4(1):48-56.
40. Baker HM, Ghanem R. Evaluation of treated natural zeolite for the removal of o-chlorophenol from aqueous solution. Desalination. 2009 Dec 25;249(3):1265-72.
41. Wang SL, Tzou YM, Lu YH, Sheng G. Removal of 3-chlorophenol from water using rice-straw-based carbon. Journal of hazardous materials. 2007;147(1):313-8.
42. Subramanyam B, Das A. Study of the adsorption of phenol by two soils based on kinetic and isotherm modeling analyses. Desalination. 2009;249(3):914-21.

Adsorption of 2-Chlorophenol on Activated Carbon Prepared from Orange and Banana Husk: Equilibrium and Kinetic Studies

Zazouli MA¹, Balarak D^{2*}

Abstract

Background and Objectives: Phenolic compounds present in many industrial effluents that classified as priority pollutants. Therefore, its treatment is necessary before discharge into the environment. The aim of this study was to assess the 2-chlorophenol adsorption by orange and banana shell activated carbon.

Materials and Methods: This study was performed in laboratory at batch scale. The orange and banana peel was sun dried at 105 C°, then carbonized, crushed and sieved to particle sizes in range of 30 mesh. The effects of different parameters including contact time (10-120 min), pH (3-11), 2-chlorophenol initial concentration (10-200 mg/L) and biomass dosage (0.2-2 g/L) were studied for removal of 2-chlorophenol. All experiments were repeated twice and then adsorption isotherms and kinetics of different models were analyzed by comparing the regression coefficient and R-squared (R²).

Results: The results indicated that the 2-chlorophenol adsorption rate increases by increasing of contact time and adsorbent dose for both adsorbents, however, the 2-chlorophenol adsorption per each gr of adsorbents (q_e) decreased. The adsorption efficiency increased by decreasing of initial 2-chlorophenol concentration and increasing of pH. The optimum pH was 5 in 2-chlorophenol adsorption and obtained data well fitted by Langmuir Isotherm in comparison with other isotherms. It was found that the kinetics data fitted well the pseudo-first order.

Conclusion: According to the achieved results, it can be concluded that orange and banana shell activated carbon as an inexpensive adsorbent, had a high adsorptive potential for removal of 2-chlorophenol from water and wastewater samples.

Keywords: 2-Chlorophenol, Natural adsorbent, orange husk, banana husk, Adsorption

1. Department of Environmental Health Engineering, Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Mazandaran, Iran.

2. Department of Environmental Health, Health Promotion Research Center, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran.

* Corresponding Author: dbalarak2@gmail.com